Journal of Horticultural Science
https:// jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 36, No. 1, Spring 2022, p. 307-318

Effect of Gibberellic Acid and Different Spectra of LED Lights on Quality of *Cyclamen persicum* Mill. Seedlings

B. Gholamian Dehkordi[1], S. Reezi[2]*, M. Ghasemi Ghehsareh[3]

Received: 17-07-2021 Revised: 08-08-2021 Accepted: 28-08-2021 Available Online: 20-06-2022	**How to cite this article:** Gholamian Dehkordi B., Reezi S., and Ghasemi Gheahsareh M. 2022. Effect of Gibberellic Acid and Different Spectra of LED Lights on Quality of *Cyclamen persicum* Mill. Seedlings. Journal of Horticultural Science 36(1): 307-318. (In Persian with English Abstract) **DOI:** 10.22067/JHS.2021.71343.1071

Introduction

Cyclamen persicum is a genus of Primulaceae family and is a winter pot plant that can be marketed within seven months under proper growing conditions. In recent years, the rapid development of lighting technology has increased the use of several types of LED lamps because of their efficient roles to generate visible light via a lot of wavelengths. Application of some plant growth regulators (PGRs) like GA3 is well-known as an environment-friendly growth regulatorwhich is extensively employed to increase the productivity and and changing the phenotypic features of several ornamental plants.

Materials and Methods

In this experiment, cyclamen large red flower seeds, i.e. the Halios series, were planted in early May, and then kept in a dark and cool greenhouse for one month. After germination and the emergence of cotyledonary leaves, transplants exposed to two levels of the LED light spectrum for 4 months consisting of the ratios of 70:20:10 and 40:40:20 via white:red and blue with the same intensity 100 µmol/m^2/s subjected to a 16-hour photoperiodic conditions. At the end of the third month of growth, GA_3 was sprayed on the leaves at four concentrations of 0, 20, 40, and 60 mg/l three times around the experiment. NPK fertilizer with a ratio of 10-52-10 was then applied once a week and a ratio of 20-19-19 fertilizer until the roots were fully established. Afterwards, the leaf area was measured using Digimizer version 5.4.3 software, in which the flowering date was calculated from of transferring time the plants of each treatment under light. In the following, chlorophyll and carotenoid contents were measured using Lichtenthaler and Wellburn method. Leaf soluble sugar was measured using the Oregon method and the chlorophyll fluorescence indices were measured using FluorPen FP 100.

Results and Discussion

According to the results, the highest leaf number of cyclamen seedlings in the treatment of 40:40:20 was equal to seven, whereas the highest leaf area (9.8 cm^2) observed under the light treatment of 70:20:10. the blue LED light can affects on differentiation of leaf mesophilic cells as well as the development of intercellular spaces, and the red light affects the production of a plant hormone so-called Meta-Topolin, which stimulates cell division and leaf expansion. Here, it should be noted that adding white LED light to the composition spectrum increases both growth and photosynthesis because of its deeper penetration into the plant canopy. The maximum root length was achieved at a concentration of 60 mg/l GA_3 equal to 5.1 cm. It should be mentioned that GA_3 is effective to increase the growth of cells in different parts of the plant (such as roots) by stimulating mitotic division. The closest date to cyclamen flowering time (90 days) was obtained in 70:20:10 treatment. . The highest amount of chlorophyll b was achieved from the interaction of light treatment 40:40:20 and concentration of 0 mg/l GA_3 equal to 0.35 mg/g. Results showed that the red light is needed for the photosynthesis, whereas the

1, 2 and 3- BSc. Student and Assisatant Professors, Department of Horticulture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: sreezi@sku.ac.ir)

blue light is needed for chlorophyll and chloroplast synthesis, stomatal opening, and photomorphogenesis. The highest amount of leaf soluble sugar of cyclamen seedlings was achieved from the interaction of 40:40:20 and the concentration of 0 mg/l GA_3 equal to 0.53 mg/ml. Carbohydrates mostly accumulate in the leaves under blue light, whereas the red light can cause them to accumulate by preventing the transferring the photosynthetic products from the leaves. Among chlorophyll fluorescence indices, the highest V_J index was obtained from 40 mg/l GA_3 concentration equal to 0.51. V_J was measured from the first light pulse, in which its increase via increasing the performance of the photosynthetic apparatus reveal the ability of seedlings to make better use of environmental conditions applied to produce more carbohydrates as well as to enhance the growth quality. The highest values of $\varphi\text{-}_{E0}$ and $\Psi\text{-}_0$ indices in GA_3 0 treatment were 0.44 and 0.54, respectively, indicating that increasing them improves the performance index of the photosynthetic apparatus. The external GA_3 increases only the amount of chlorophyll and soluble protein content in the leaves of some plants, and interferes with the greater light reflection, chlorophyll fluorescence and eventually the performance of photosystem II. In this regard, the highest amount of ABS/RC index was observed in the interaction of 40:40:20 and concentration of 60 mg/l GA_3 equal to 2.27, which is equal to increasing the performance index of photosynthetic device. During the plant growth, the use of monochromatic LED light compared to the full visible spectrum or red + blue lights would lead to creating some defects in the electron transport chain.

Conclusion

An increase in PI (Plant Photosynthetic Performance Index) means that the plant is operating under conditions of normal photosynthesis. In general, an increase in this index indicates the ability of seedlings or mature plants to make better use of environmental conditions to produce more carbohydrates and improve growth quality. The relationship between increasing the amount of chlorophyll b, leaf soluble sugar and ABS / RC index all in 40:40: 20 treatment while confirming this correlation, shows that since most of the light absorption by chlorophyll is in the red and blue light spectrum. 40: 40: 20 is better than 70: 20: 10 with more red and blue light. The effect of light of any quality or GA3 at any concentration on the qualitative traits of seedling or adult plant growth is directly related to plant genotype and no specific effects can be determined for them. The use of complementary LED light may in some respects lead to a further increase in the quality of Cyclamen seedlings, but it is only reasonable to use them if it compensates for other production costs, including electricity consumption. Finally, chlorophyll fluorescence indices are also independent of each other in terms of their effect on the performance of the photosynthetic apparatus.

Keywords: Chlophyll flourescence, Floweing time, Leaf area, Root length, Soluble sugar

نشریه علوم باغبانی
https:// jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱، ص ۳۱۸-۳۰۷

بررسی اثر جیبرلیک‌اسید و طیف‌های مختلف نور LED بر کیفیت نشاء *Cyclamen persicum* Mill.

بدری غلامیان دهکردی[1]- سعید ریزی[2*]- مسعود قاسمی قهساره[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۰۶

چکیده

به‌منظور بررسی تاثیر طیف‌های نور LED و جیبرلیک‌اسید (GA_3) بر کیفیت نشاء سیکلمن (*Cyclamen persicum*) آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. گیاهان از مرحله جوانه‌زنی به‌مدت چهار ماه تحت تاثیر دو سطح از طیف‌های نوری LED شامل نسبت‌های ۷۰: ۲۰: ۱۰ و ۴۰: ۴۰: ۲۰ درصد با رنگ‌های سفید: قرمز: آبی با شدت یکسان ۱۰۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه، در محفظه‌ای طراحی شده (که عوامل محیطی تا حد امکان در آن تحت کنترل بود) قرار گرفتند و GA_3 در چهار غلظت صفر، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ میلی‌گرم برلیتر و در سه نوبت روی برگ‌ها افشانش شد. بر اساس نتایج، بیشترین تعداد برگ و سطح برگ به‌ترتیب در تیمار ۴۰: ۴۰: ۲۰ و ۷۰: ۲۰: ۱۰ مشاهده شد. طول ریشه در غلظت ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر GA_3 افزایش یافت و نزدیک‌ترین تاریخ گلدهی گیاه از برهمکنش تیمار ۷۰: ۲۰: ۱۰ و غلظت صفر میلی‌گرم بر لیتر GA_3 بدست آمد. بیشترین مقدار کلروفیل b و قند محلول برگ از برهمکنش تیمار ۴۰: ۴۰: ۲۰ و غلظت صفر میلی‌گرم برلیتر GA_3 مشاهده شد. شاخص‌های Ψ_0 (حداکثر عملکرد کوانتومی فتوشیمیایی اولیه) و $\varphi\text{-}E_0$ (عملکرد کوانتومی انتقال الکترون) در غلظت صفر میلی‌گرم بر لیتر GA_3 و V_J (فلورسنس متغیر نسبی) در غلظت ۴۰ میلی‌گرم برلیتر GA_3 افزایش یافت. بالاترین میزان ABS/RC (تراکم مرکز واکنش به‌ازاء مقدار انرژی نورانی جذب شده) از برهمکنش تیمار ۴۰: ۴۰: ۲۰ و غلظت ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر GA_3 بدست آمد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد کاربرد تجاری لامپ‌های LED برای پرورش نشاء سیکلمن برای دستیابی به‌نتایج مشابه با این پژوهش باید با در نظر گرفتن سایر هزینه‌ها با احتیاط انجام شود.

واژه‌های کلیدی: تاریخ گلدهی، سطح برگ، طول ریشه، فلورسانس کلروفیل، قند محلول

مقدمه

سیکلمن با نام علمی *Cyclamen persicum* از تیره Primulaceae و از گیاهان گلدانی زمستانه‌ی محبوب است (Dole and Wilkins, 2004) که وقتی در شرایط مساعد به‌خوبی رشد کند در عرض ۷ ماه قابل بازاررسانی است (Farjadi Shakib *et al.*, 2012).

کمیت، کیفیت و مدت زمان تابش نور، موجب تغییراتی در عملکرد فتوسنتز و انجام واکنش‌های متابولیکی و مورفولوژیکی گیاه می‌شود (Morrow, 2008). استفاده از نورهای تکمیلی در پرورش گیاهان باعث بهبود کیفیت رشد، کاهش استفاده از مواد شیمیایی و در نتیجه کاهش اثرات سوء آنها بر محیط زیست می‌شود (Abidi *et al.*, 2012). به‌طور کلی پیشرفت سریع تکنولوژی استفاده از نور در سال-های اخیر، استفاده از انواع لامپ‌های LED را به‌دلیل نقش کارآمد آنها در تولید نورهای مرئی با گستره وسیعی از طول‌موج‌ها افزایش داده است (Seif *et al.*, 2018). تاکنون گزارش‌هایی مبنی بر تاثیر مثبت کاربرد نور LED بر بهبود وضعیت رشد بعضی از گیاهان زینتی ارائه شده است، اما چگونگی تاثیر طیف‌های اختصاصی بر کیفیت رشد نشاء گیاهان زینتی کمتر مورد توجه بوده است (Fukuda *et al.*, 2016). ترکیب طیف‌های آبی و قرمز LED منجر به‌افزایش عملکرد رنگدانه‌های فتوسنتزی و بهبود کارآیی آنان و در نتیجه افزایش رشد گیاهان می‌شود (Toyoki *et al.*, 2016). پژوهش‌های مختلف نشان

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد و استادیاران گروه علوم باغبانی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: sreezi@sku.ac.ir
DOI: 10.22067/JHS.2021.71343.1071

می‌دهد که انواع LED در مقایسه با نور خورشید و دیگر لامپ‌ها می‌توانند حتی باعث کاهش زمان تا گلدهی شوند (Mitchell *et al.*, 2015). انواع GA رشد گیاهان سالم و صدمه ندیده را افزایش داده، گلدهی را در دامنه وسیعی از گیاهان عالی تحریک کرده، سطح برگ و طول میانگره را افزایش می‌دهند (Arteca, 2014). GA_3 از تنظیم‌کننده‌های رشد سازگار با محیط زیست است که به‌طور گسترده‌ای برای افزایش بهره‌وری و بهبود ویژگی‌های فنوتیپی محصولات زینتی متعدد استفاده می‌شود (Mihaiela *et al.*, 2020). GA_3 قادر است دوره گلدهی را در برخی گیاهان زینتی و بسیاری دیگر از گیاهان گل‌دهنده کاهش دهد. در مورد سیکلمن، GA_3 به‌طور معمول پس از نمو جوانه‌ها برای کوتاه‌کردن زمان رسیدن به دوره‌ی گلدهی بکار می‌رود (Dole and Wilkins, 2004). GA_3 آلفاآمیلاز و سایر آنزیم‌های هیدرولتیک را تحریک نموده، هیدرولیز اندوخته‌های غذایی را افزایش داده و حتی در شدت نور کم، تحریک فتوسنتز را از طریق افزایش سطح برگ موثر افزایش می‌دهد (Artka, 2014) همچنین می‌تواند میزان کلروفیل a، b، سرعت واکنش هیل و میزان ترکیبات فنلی را افزایش دهد (Omrani *et al.*, 2015). هدف از این پژوهش بررسی تاثیر کیفیت نور LED و غلظت‌های مختلف GA_3 بر صفات فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی، شاخص‌های فتوسنتزی نشاء سیکلمن و تاریخ گلدهی گیاه بوده است.

مواد و روش‌ها

در این آزمایش، بذرهای سیکلمن گل درشت قرمز، سری Halios در اوایل اردیبهشت کشت و برای یک ماه در شرایط خنک و تاریک در گلخانه قرار گرفتند. پس از جوانه‌زنی و ظهور برگ لپه‌ای، گیاهان به‌محفظه طراحی شده منتقل شدند. بستر کشت شامل مخلوطی از ۷۵ درصد پیت‌ماس و ۲۵ درصد پرلیت شکری بود. در محفظه گیاهان به‌مدت ۴ ماه تحت تاثیر دو سطح از طیف‌های نوری LED شامل نسبت‌های ۷۰: ۲۰: ۱۰ و ۴۰: ۴۰: ۲۰ درصد با رنگ‌های سفید: قرمز: آبی با شدت یکسان ۱۰۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه (اندازه‌گیری شده توسط پارمتر Apogee Quantum meter MQ500) با فتوپریود ۱۶ ساعته قرار گرفتند. در اواخر ماه سوم رشد (به‌تقریب ۴ تا ۵ برگی)، GA_3 در چهار غلظت صفر، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر و در ۳ نوبت با فاصله ۱۰ روز از هم روی برگ‌ها افشانش شد. در این مدت میانگین دمای حداقل و حداکثر به‌ترتیب ۲۳ و ۲۶ درجه سلسیوس و میانگین رطوبت نسبی حدود ۵۵ درصد بود. کود NPK با نسبت ۱۰-۵۲-۱۰ به‌صورت محلول ۰/۵ در ۱۰۰۰ (گرم کود در میلی‌لیتر آب) هر ۱۰ روز یکبار و بعد از انتقال نشاها به‌سینی‌های ۵۰ تایی (۷۰ روز بعد از کشت) ۲ بار در هفته تا زمان استقرار کامل ریشه‌ها استفاده شد. پس از آنکه نشاها به‌مرحله ۵ برگ کامل باز شده رسیدند کود NPK با نسبت ۱۹-۱۹-۲۰ یک‌بار در هفته، با غلظت ۰/۷۵ در ۱۰۰۰ به‌کار رفت. در مرحله ۶-۸ برگی (مرحله انتقال نشا به گلدان) صفات مورفولوژیکی (تعداد برگ، سطح برگ، (وزن تر و خشک شاخساره، غده و ریشه)، طول و حجم ریشه و تاریخ گلدهی گیاه)، صفات فیزیولوژیکی (مقادیر کلروفیل (a، b، کل)، کاروتنوئید و قند محلول برگ) و برخی شاخص‌های مربوط به‌فتوسنتز نشاء بررسی شد ولی در قسمت نتایج و بحث فقط صفاتی که اثر تیمارها بر آنها معنی‌دار شد بیان شده است.

اندازه‌گیری صفات مورفولوژیکی

برای اندازه‌گیری سطح برگ از نرم‌افزار Digimizer version 5.4.3 استفاده شد. تاریخ گلدهی از زمان انتقال گیاهان به‌زیر نور و به‌صورت روزشمار برای گیاهان هر تیمار محاسبه گردید.

تعیین مقادیرکلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید

برای اندازه‌گیری مقادیر کلروفیل و کاروتنوئید از روش لیچنتالر و ولبورن (Lichenthaler and Wellburn, 1983) استفاده شد. ۰/۵ گرم بافت تازه برگ را همراه با استون ۸۰ درصد در هاون چینی کوبیده و آمیخته بدست آمده در فالکون مدرج با استون ۸۰ درصد به‌حجم ۱۰ سی‌سی رسانده شد. نمونه‌ها به‌مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۳۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شده و سپس جذب نوری محلول رونشین با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (GENWAY 63200) که در ابتدا با استون ۸۰ درصد کالیبره شده بود، در طول‌موج‌های ۶۶۳ نانومتر ۶۴۶ نانومتر و ۴۷۰ نانومتر قرائت شد. در نهایت از فرمول‌های (۱) برای محاسبه مقادیر کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید استفاده گردید.

$$Chl\ a\ (mg.g^{-1}) = ((12.21\times663nm)-(2.81\times646nm))\ V/1000W$$

$$Chl\ b\ (mg.g^{-1}) = ((20.13\times646nm)-(5.03\times663nm))\ V/1000W$$

$$Car\ (mg.g^{-1}) = ((1000\times470nm)-(3.27\times Chl\ a)-(104\times Chl\ b))/227$$

$$Chl\ T\ (mg.\ g^{-1}) = Chl\ a + Chl\ b$$

The content of acetone used:V

Leaf tissue weight used: W (۱)

اندازه‌گیری قند محلول برگ

برای اندازه‌گیری قند محلول برگ از روش اریگون استفاده شد (Irigoyen *et al.*, 1992). ۰/۵ گرم بافت تازه برگ با ۱۰ میلی‌لیتر محلول اتانول ۹۵ درصد در هاون چینی ساییده شده و عصاره بدست آمده به‌مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره با ۳ میلی‌لیتر معرف آنترون مخلوط و

برای ۱۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد در بن‌ماری قرار گرفت. پس از خنک شدن محلول، جذب آن در طول‌موج ۶۲۵ نانومتر قرائت گردید. برای تهیه معرف آنترون، ۰/۲ گرم آنترون (Merck Germany) در ۱۰۰ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک ۷۲ درصد سرد، روی یخ حل شد. در نهایت از فرمول (۲) برای محاسبه مقدار قند محلول برگ استفاده گردید.

$$TSS\ (mg.g^{-1})= (625nm–0.009)\times 0.002 \quad (۲)$$

اندازه‌گیری شاخص‌های فلورسنس کلروفیل

برای اندازه‌گیری شاخص‌های مربوط به‌فلورسنس کلروفیل از دستگاه FluorPen FP 100 (Photon Systems Instruments, Drasov, Czech Republic) استفاده شد. اصول کار دستگاه فلورین تاباندن نوری با طول‌موج ۶۵۰ نانومتر و شدت ۳۰۰۰ میکرومول فوتون در مترمربع در ثانیه به‌مدت ۱۰ ثانیه روی برگ‌هایی است که به‌مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی نگهداری شدند (به‌وسیله گذاشتن کلیپس روی برگ‌ها) (Avarseji *et al.*, 2015).

فلورسنس کلروفیل ناشی از بازتاب نور با طول‌موج بلندتر (۶۸۰–۷۴۰ نانومتر) توسط مولکول‌های کلروفیل مستقر در غشاء تیلاکوئید و مراکز واکنش است که فقط در فتوسیستم II اتفاق می‌افتد (Soltani, 2004)، لذا تجزیه و تحلیل آن اطلاعات مفیدی از ساختار و عملکرد دستگاه فتوسنتزی گیاه ارائه می‌دهد (Strasser and Stirbet, 2001). بروز پدیده فلورسنس کلروفیل شامل مراحل o، J، I و P است. این مراحل، فلورسنس کلروفیل را در زمان‌های صفر، ۲، ۳۰ و ۵۰ میلی‌ثانیه بعد از قرار گرفتن در معرض نور نشان می‌دهد (Strasser, 1995).

تجزیه آماری داده‌های حاصل با نرم افزار SPSS Ver.23 انجام و میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

تعداد برگ، سطح برگ، طول ریشه و تاریخ گلدهی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، اثر نور روی تعداد برگ و سطح برگ و اثر GA_3 روی طول ریشه و اثر برهمکنش تیمارها روی تاریخ گلدهی گیاه معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین تعداد برگ تحت تیمار ۴۰: ۴۰: ۲۰، بالاترین سطح برگ در تیمار ۷۰: ۲۰: ۱۰، بیشترین طول ریشه از غلظت ۶۰ میلی‌گرم برلیتر GA_3 و نزدیکترین تاریخ تا گلدهی از برهمکنش تیمار ۷۰: ۲۰: ۱۰ و غلظت ۰ میلی‌گرم برلیتر GA_3 حاصل شد (جداول ۲، ۳ و ۴).

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر کیفیت نور، GA_3 و برهمکنش آنها بر تعداد برگ، سطح برگ، طول ریشه و تاریخ گلدهی گیاه سیکلمن

Table 1- ANOVA for the effect of light quality, GA3 and their interaction on leave number, leaf area, root length, and flowering date of Cyclamen plant

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Mean squares			
		تعداد برگ Leaf number	سطح برگ Leaf area	طول ریشه Root length	تاریخ گلدهی Flowering date
نور Light (L)	1	6.000*	2.383*	0.920ns	176.042ns
GA_3	3	0.333ns	14.994ns	1.468*	80.819ns
GA_3×L	3	0.333ns	0.989ns	0.818ns	697.931*
خطا Error	16	1.208	3.266	0.388	199.542
ضریب تغییرات C.V (%)		15.33	20.05	13.50	12.85

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns , * and ** respectively insignificant and significant at 5% and 1%

جدول ۲- اثر کیفیت نور بر تعداد برگ و سطح برگ نشاء سیکلمن

Table 2– The effect of light quality on the leaf number and areaof Cyclamen seedlings

نور (سفید: قرمز: آبی) Light (White: Red: Blue)	تعداد برگ Leaf number	سطح برگ Leaf area (square centimeters)
70: 20: 10	6.67b	9.80a
40: 40: 20	7.67a	8.22b

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

In each column the means including the common letters have not statistically significant differences with each other based on DMRT at 5% of probability level.

جدول ۳- اثر غلظت‌های مختلف GA_3 بر طول ریشه نشاء سیکلمن

Table 3– The effect of different concentrations of GA_3 on the root length of Cyclamen seedlings

GA_3 (mg. l^{-1})	0	20	40	60
طول ریشه Root length (cm)	4.0[b]	4.47[ab]	4.83[a]	5.15[a]

در ردیف، میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

In row the means including the common letters have not statistically significant differences with each other based on DMRT at 5% of probability level.

جدول ۴- اثر برهمکنش کیفیت نور و GA_3 بر تاریخ گلدهی گیاه سیکلمن

Table 4- The effect of light quality interaction and GA_3 on the flowering date of Cyclamen plant

تیمار Treatment	GA_3 (mg.l^{-1})			
	0	20	40	60
70 :20 :10(سفید: قرمز: آبی) 70: 20: 10 (White: Red: Blue)	90.33[b]	107.33[ab]	124.67[a]	106.67[ab]
40 :40 :20(سفید: قرمز: آبی) 40: 40: 20 (White: Red: Blue)	123.67[a]	108.33[ab]	105.67[ab]	113[ab]

در برهمکنش هر ردیف و ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

In the interaction of each row and column the means including the common letters have not statistically significant differences with each other based on DMRT at 5% of probability level.

بر اساس نتایج این پژوهش، بیشترین تعداد برگ نشاء سیکلمن در تیمار ۴۰: ۴۰: ۲۰ برابر ۷ بدست آمد و کمترین تعداد برگ نشاء در تیمار ۷۰: ۲۰: ۱۰ برابر ۶ مشاهده شد. تعداد برگ گل قاصدک تحت تاثیر نور قرمز (۶۶۰ نانومتر)، آبی (۴۶۰ نانومتر) و قرمز + آبی (با نسبت ۴۰: ۶۰) LED نسبت به‌گیاهان شاهد رشد یافته زیر لامپ‌های فلورسنت به‌ترتیب ۶/۸، ۴/۲ و ۵/۵ درصد افزایش یافت (Jai Hyunk et al., 2012). همچنین تعداد برگ گل حسن یوسف و وریزیا در تیمار نور آبی + قرمز LED افزایش یافته است (Javadi Asayesh, 2019; Dehkhodai et al., 2017; Azad, 2011).

نتایج این پژوهش نشان داد بیشترین سطح برگ نشاء سیکلمن تحت تیمار نوری ۷۰: ۲۰: ۱۰ برابر ۹/۸ سانتی‌متر مربع و کمترین سطح برگ تحت تیمار ۴۰: ۴۰: ۲۰ برابر ۸/۲ سانتی‌متر مربع بدست آمد. در آزمایشی GA_3 در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر در برخی گونه‌های سیکلمن استفاده و نتایج نشان داد غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم برلیتر GA_3 تعداد و سطح برگ آنها را افزایش می‌دهد (Mihaiela et al., 2020). نتایج پژوهش حاضر مبنی بر عدم تاثیر تیمار GA_3 و برهمکنش آن با نور بر سطح برگ، با نتایج آزمایش فوق مطابقت ندارد، شاید به‌این دلیل که در گونه‌های مختلف سیکلمن، سن گیاه، تعداد برگ‌ها یا اندازه مریستم بر عملکرد GA یا تاثیر آن بر بیان ژن *FLOWERING LOCUS T* برای افزایش سطح برگ موثر است (Zulfiqar et al., 2019).

طول‌موج‌های مختلف نور آبی (۴۵۰، ۴۵۵ یا ۴۷۰ نانومتر) و طیف قرمز (۶۶۰ نانومتر) LED به‌طور قابل توجهی باعث افزایش سطح برگ در گوجه‌فرنگی و خیار می‌شوند (Javanmardi and Emami, 2013). رشد مناسب گیاهان به‌وسیله ترکیبات طیفی منبع نور و شدت نور رسیده در سطح برگ (شدت جریان فوتون فتوسنتزی (PPFD)) تحت تاثیر قرار می‌گیرد (Pinho et al., 2004). نور LED آبی بر تمایز سلول‌های مزوفیل برگ و توسعه فضاهای بین سلولی و در نتیجه بر سطح برگ و ضخامت آن موثر است (Fukuda et al., 2016). سطح برگ بزرگتر میزان بیشتری از پرتوهای نوری را دریافت کرده که منجر به‌افزایش در توده گیاهی و در نتیجه فرآیندهای فتوسنتزی می‌شود (Lin et al., 2013). جذب میزان بالایی از نور قرمز توسط گیرنده‌های گیاهی موجب تولید هورمون گیاهی موسوم به‌متاتوپولین می‌گردد که محرک تقسیم سلولی و گسترش برگ است (Steele, 2004). افزودن نور سفید LED به‌طیف ترکیبی، به‌دلیل نفوذ عمیق‌تر به‌تاج و برگ گیاه، رشد را افزایش داده و فتوسنتز را در مقایسه با طیف آبی + قرمز افزایش می‌دهد (Lin et al., 2013).

طبق نتایج این پژوهش بیشترین طول ریشه در غلظت ۶۰ میلی‌گرم برلیتر GA_3 برابر ۵/۱ سانتی‌متر و کمترین آن در تیمار صفر GA_3 برابر ۴ سانتی‌متر بدست آمد. در گونه *C. hederifolium* استفاده از ۵۰ میلی‌گرم برلیتر GA_3 طول ریشه را افزایش داد. همچنین گیاهان سیکلمن که با غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم برلیتر GA_3 محلول‌پاشی شده بودند طول ریشه بیشتری نشان دادند (Mihaiela et al., 2020). تنظیم‌کننده‌های رشد خانواده جیبرلین و به‌ویژه GA_3 از طریق تحریک تقسیم میتوزی سلول‌های قسمت‌های مختلف گیاه (از جمله ریشه برای کمک به‌جذب بهتر آب و مواد مغذی) بر افزایش رشد آنها موثر هستند (Salachna et al., 2020).

نتایج پژوهش حاضر نشان داد نزدیکترین تاریخ تا گلدهی

سیکلمن، از زمان انتقال گیاه تازه جوانه‌زده به‌زیر نورهای LED، از برهمکنش تیمار ۷۰: ۲۰: ۱۰ و غلظت ۰ میلی‌گرم برلیتر GA_3 برابر ۹۰ روز و دیرترین تاریخ از برهمکنش همین تیمار نور و غلظت ۴۰ میلی‌گرم برلیتر GA_3 برابر ۱۲۴ روز حاصل شد. در پژوهشی اثر برهمکنش نور LED با طیف قرمز + سفید از اواخر پاییز تا اوایل بهار و GA_3 در غلظت ۵۰ تا۱۵۰ میلی‌گرم برلیتر برای گل کوکب (*Dahlia* sp.)، ۵۰ تا ۲۵۰ میلی‌گرم برلیتر برای لیاتریس (*Liatris spicata*) و ۴۰ تا ۳۴۰ میلی‌گرم برلیتر برای لیلیوم آسیایی (*Lilium asiatica*) بررسی شد و نتایج نشان داد که برهمکنش نور با GA_3 بر افزایش تعداد گل در گل کوکب و افزایش تعداد گل و قطر آن در لیلیوم قابل توجه است. به‌ویژه برای گل‌های لیاتریس و گل کوکب، گلدهی دو هفته زودتر اتفاق می‌افتد (Taylor *et al.*, 2019).

اثر لامپ‌های LED بر گلدهی *Cyclamen persicum* نشان داد که نور آبی + قرمز به‌مدت ۱۰ ساعت در روز باعث القای گل و افزایش تعداد جوانه گل می‌شود ولی نور آبی و قرمز به‌تنهایی گلدهی را کاهش می‌دهند (Farjadi Shakib *et al.*, 2012). برهمکنش نور LED و GA_3 باعث رشد گیاه و تسریع گلدهی در گل محمدی و لیلیوم می‌شود (Yamaguchi and Kamiya, 2001). GA_3 در بافت‌های در حال رشد، برگ‌های جوان و گل‌ها تقسیم و توسعه سلول‌ها را تحریک و شروع گلدهی، رشد گل و بیان جنسیت را تنظیم می‌کند (Punetha *et al.*, 2018). به‌طور کلی طیف نور بهینه در مرحله نشایی بر فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاه مثل سنتز رنگیزه‌ها و فتوسنتز تا زمان گلدهی موثر است (Ghasemi Qahsareh and Kafi, 2011). اثر متقابل نور LED و GA_3 در تاثیر بر گلدهی در مسیرهایی که خواب و جوانه‌زنی بذر را تنظیم می‌کند دخالت دارد (Taylor *et al.*, 2019).

کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئید و قند محلول برگ

جدول تجزیه واریانس نشان داد، اثر برهمکنش نور و GA_3 روی کلروفیل b و قند محلول برگ معنی‌دار بود. اما تیمارهای به‌کار رفته و برهمکنش آنها اثر معنی‌داری بر کلروفیل a، کلروفیل کل و کاروتنوئید نداشتند (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین مقدار کلروفیل b و قند محلول برگ از برهمکنش تیمار ۴۰: ۴۰: ۲۰ و غلظت ۰ میلی‌گرم برلیتر GA_3 حاصل شد (جداول ۶ و ۷).

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر کیفیت نور، GA_3 و برهمکنش آنها بر کلروفیل b و قند برگ نشاء سیکلمن

Table 5- ANOVA for the effect of light quality, GA3 and their interaction on chlorophyll b and leaf sugar of Cyclamen

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Mean squares کلروفیل b Chlorophyll b	قند برگ Leaf sugar
نور Light (L)	1	0.022***	0.039***
GA_3	3	0.003*	0.005ns
GA_3×L	3	0.004***	0.018***
خطا Error	16	0.001	0.003
ضریب تغییرات C.V (%)		10.52	8.94

ns، * و ***: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns , * and *** respectively insignificant and significant at 5% and 1%

جدول ۶- اثر برهمکنش کیفیت نور × غلظت GA_3 بر میزان کلروفیل b نشاء سیکلمن

Table 6 – The interaction effect of light quality ×GA_3 concentration on chlorophyll b content of Cyclamen seedlings

تیمار Treatment	GA_3 (mg.l^{-1}) 0	20	40	60
70: 20: 10(سفید: قرمز: آبی) 70: 20: 10 (White: Red: Blue)	0.23e	0.25de	0.27cd	0.33ab
40: 40: 20(سفید: قرمز: آبی) 40: 40: 20 (White: Red: Blue)	0.35a	0.33ab	0.30bc	0.34ab

در برهمکنش هر ردیف و ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

In the interaction of each row and column the means including the common letters have not statistically significant differences with each other based on DMRT at 5% of probability level.

جدول ۷- اثر برهمکنش کیفیت نور × غلظت GA_3 برقند محلول برگ نشاء سیکلمن

Table 7- The interaction effect of light quality ×GA_3 concentrations on the soluble sugar of the Cyclamen leaf

تیمار Treatment	GA_3 (mg.l^{-1}) 0	20	40	60
70 :20 :10 (سفید: قرمز: آبی) 70: 20: 10 (White: Red: Blue)	0.23^{c}	0.33^{bc}	0.44^{ab}	0.33^{bc}
40 :40 :20 (سفید: قرمز: آبی) 40: 40: 20 (White: Red: Blue)	0.53^{a}	0.40^{ab}	0.42^{ab}	0.38^{ab}

در برهمکنش هر ردیف و ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

In the interaction of each row and column the means including the common letters have not statistically significant differences with each other based on DMRT at 5% of probability level.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد بیشترین میزان کلروفیل b از برهمکنش تیمار نور ۴۰: ۴۰: ۲۰ و غلظت ۰ میلی‌گرم برلیتر GA_3 برابر ۰/۳۵ و کمترین مقدار آن از برهمکنش تیمار ۷۰: ۲۰: ۱۰ و غلظت ۰ میلی‌گرم برلیتر GA_3 برابر ۰/۲۳ میلی‌گرم بر گرم بدست آمد. کلروفیل b در برگ‌های گیاهچه برنج رقم *IR1552* (*purple leaf*) زیر نور قرمز + آبی LED از نور قرمز و آبی تکی بیشتر بود (Chang-Chang *et al.*, 2014). کاربرد GA_3 در گیاه بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.) میزان کلروفیل a، b، ترکیبات فنلی و سرعت واکنش هیل را افزایش می‌دهد (Abbaspour and Rezaei, 2015). در گیاهچه‌های رز رقم سامورایی زیر تیمار نور LED با طیف‌های رنگی قرمز، آبی و قرمز + آبی، میزان کلروفیل b تغییر قابل توجهی نداشته است (Bayat *et al.*, 2020).

رشد و نمو و فتوسنتز گیاهان متاثر از عوامل محیطی مختلف است. در طیف قرمز + آبی، سطح شار فوتون فتوسنتزی (PPFD) به‌حد معینی که برای سنتز و فعالیت کافی رنگدانه‌های فتوسنتزی و حامل‌های الکترون لازم است، می‌رسد (Chang-Chang *et al.*, 2014). نور قرمز با حفظ رنگدانه‌های فتوسنتزی اثر مشخص‌تری بر شاخص‌های فتوسنتزی دارد و با اثر بر پیش‌سازهای کلروفیل مثل پرتوپورفیرین، پرتوکلروفیلد و ۵–آمینولئونیک باعث افزایش بیوسنتز کلروفیل می‌شود (Fan *et al.*, 2013). در واقع نور قرمز برای فتوسنتز و نور آبی برای سنتز کلروفیل و کلروپلاست، باز شدن روزنه و فتومورفوژنز مورد نیاز است (Singh *et al.*, 2014). به‌طور کلی توان فتوسنتزی گیاه با افزایش میزان کلروفیل برگ، به‌دلیل باز شدن بیشتر روزنه‌ها برای دریافت CO_2 افزایش می‌یابد (Kapotis *et al.*, 2003).

بر اساس نتایج این پژوهش بیشترین میزان قند محلول برگ نشاء سیکلمن از برهمکنش تیمار ۴۰: ۴۰: ۲۰ و غلظت ۰ میلی‌گرم برلیتر GA_3 برابر ۰/۵۳ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر و کمترین میزان آن از برهمکنش تیمار ۷۰: ۲۰: ۱۰ و غلظت ۰ میلی‌گرم بر لیتر GA_3 برابر ۰/۲۳ حاصل شد. بیشترین قند محلول برگ در گل رز رقم سامورایی زیر تیمار نور قرمز LED و کمترین آن در تیمار نور آبی و آبی + قرمز بدست آمده است (Bayat *et al.*, 2020). GA_3 سطوح mRNA را در سلول افزایش داده و لذا نسخه‌برداری ژن‌های مربوط به‌سنتز آلفاآمیلاز که باعث هیدرولیز مواد ذخیره‌ای و تبدیل نشاسته به‌قند می‌شوند را زیاد می‌کند (Omrani *et al.*, 2015). کربوهیدرات‌ها بیشتر تحت نور آبی در برگ‌ها جمع می‌شوند، هرچند نور قرمز هم باعث تجمع کربوهیدرات‌ها می‌شود، که دلیل اصلی آن جلوگیری از انتقال محصولات فتوسنتزی از برگ است (Wang *et al.*, 2009).

V_J، Ψ_{-0}، φ_{-E0} و ABS/RC

جدول تجزیه واریانس نشان داد اثر GA_3 روی شاخص‌های V_J، Ψ_{-0} و φ_{-E0} و اثر برهمکنش تیمارها بر ABS/RC معنی‌دار بود (جدول ۸). نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین اعداد بدست آمده برای Ψ_{-0} و φ_{-E0} در تیمار صفر GA_3 و بیشترین مقدار V_J از غلظت ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر GA_3 بدست آمد. بیشترین مقدار ABS/RC از برهمکنش تیمار ۴۰: ۴۰: ۲۰ و غلظت ۶۰ میلی‌گرم برلیتر GA_3 حاصل شد (جداول ۹ و ۱۰).

بر اساس نتایج این پژوهش بیشترین میزان شاخص V_J از غلظت ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر GA_3 برابر ۰/۵۱ و کمترین میزان آن در تیمار صفر GA_3 برابر ۰/۴۶ بدست آمد. افزایش V_J در پسته اهلی رقم سرخس نشان می‌دهد مراکز واکنش در انتقال الکترون به Q_A فعالیت بهتری دارند (Fahimi kuyerdi and Shamshiri, 2016). فلورسنس متغیر نسبی از اولین پالس نوری اندازه‌گیری می‌شود. افزایش V_J باعث افزایش عملکرد دستگاه فتوسنتزی (P_I) می‌شود (Strasser and Stirbet, 2001). به‌طور کلی افزایش شاخص عملکرد دستگاه فتوسنتزی، نشان‌دهنده توانایی نشاء گیاه (سیکلمن در این پژوهش) در استفاده بهتر از شرایط محیطی اعمال شده در تولید مواد کربوهیدراتی بیشتر و بهبود کیفیت رشد است (Hassibi, 2011) و به‌ساختار دستگاه فتوسنتزی، واکنش‌های فتوشیمیایی، تثبیت کربن و انتقال حدواسط‌های فتوسنتزی بین اجزاء سلولی بستگی دارد (Strasser, 1995).

جدول ۸- تجزیه واریانس اثر کیفیت نور، GA_3 و برهمکنش آنها بر V_J، PSI-O، φ-EO و ABS/RC نشاء سیکلمن

Table 8- ANOVA for the effect of light quality, GA3 and their interaction on VJ, Ψ -O, φEO and ABS/RC of Cyclamen seedling

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Mean squares			
		V_J	Ψ-o	φ-EO	ABS/RC
نور Light (L)	1	0^{ns}	0.0003^{ns}	0.0001^{ns}	0.006^{ns}
GA_3	3	0.003^{*}	0.003^{*}	0.003^{*}	0.002^{ns}
GA_3×L	3	0^{ns}	0.0005^{ns}	0.001^{ns}	0.015^{*}
خطا Error	16	0.001	0.001	0.001	0.004
ضریب تغییرات C.V (%)		6.46	6.19	7.67	2.93

ns و *: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ درصد

ns and * respectively insignificant and significant at 5%

جدول ۹- اثر غلظت‌های مختلف GA_3 بر V_J، Ψ-o و φ-EO نشاء سیکلمن

Table 9- The effect of GA_3 concentrations on V_J, Ψ-o and φ-EO of Cyclamen seedlings

GA_3 (mg. L^{-1})	0	20	40	60
V_J	0.46^{b}	0.49^{ab}	0.51^{a}	0.50^{a}
Ψ -o	0.54^{a}	0.51^{ab}	0.49^{b}	0.50^{b}
φ-EO	0.44^{a}	0.41^{ab}	0.39^{b}	0.40^{b}

در هر ردیف، میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

In each row the means including the common letters have not statistically significant differences with each other based on DMRT at 5% of probability level.

جدول ۱۰- اثر برهمکنش کیفیت نور × غلظت GA_3 بر ABS/RC نشاء سیکلمن

Table 10– The interaction effect of light quality ×GA_3 concentration on ABS / RC of Cyclamen seedlings.

تیمار Treatment	GA_3 (mg.l^{-1})			
	0	20	40	60
(سفید: قرمز: آبی) 10: 20: 70 70: 20: 10 (White: Red: Blue)	2.14^{b}	2.14^{b}	2.19^{ab}	2.09^{b}
(سفید: قرمز: آبی) 20: 40: 40 40: 40: 20 (White: Red: Blue)	2.12^{b}	2.17^{ab}	2.13^{b}	2.27^{a}

در برهمکنش هر ردیف و ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

In the interaction of each row and column the means including the common letters have not statistically significant differences with each other based on DMRT at 5% of probability level.

در این پژوهش بیشترین میزان شاخص φ-Eo در تیمار صفر GA_3 برابر ۰/۴۴ و کمترین مقدار آن از غلظت ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر GA_3 برابر ۰/۳۹ بدست آمد. φ-Eo در گل‌های همیشه‌بهار که زیر نور قرمز LED رشد کردند کاهش یافت (Aliniaeifard *et al.*, 2018). φ-Eo نشان دهنده میزان جریان الکترون به‌میزان انرژی جذبی است، که کاهش آن به‌معنی کاهش در میزان جریان الکترون به‌سمت ناقل‌های بعدی و افزایش آن به‌معنی افزایش شاخص عملکرد دستگاه فتوسنتزی است (Esfandiari and Enayati, 2014).

در این پژوهش بیشترین میزان شاخص Ψ-o در تیمار صفر GA_3 برابر ۰/۵۴ بدست آمد. Ψ-o حداکثر عملکرد کوانتومی فتوشیمیایی اولیه را در دستگاه فتوسنتزی برگ نشان می‌دهد و افزایش آن با افزایش شاخص عملکرد دستگاه فتوسنتزی گیاه برابر است (Yousefinia and Qasemian, 2016). GA_3 خارجی مقدار کلروفیل و محتوای پروتئین محلول را صرفاً در برگ‌های برخی گیاهان افزایش داده و در بازتاب بیشتر نور و فلورسنس کلروفیل و در نهایت عملکرد فتوسیستم II دخالت می‌کند (Lim *et al.*, 2004).

بیشترین میزان شاخص ABS/RC در پژوهش حاضر از برهمکنش تیمار ۴۰: ۴۰: ۲۰ و غلظت ۶۰ میلی‌گرم برلیتر GA_3 برابر ۲/۲۷ و کمترین میزان آن از برهمکنش تیمار ۷۰: ۲۰: ۱۰ و غلظت ۶۰ میلی‌گرم برلیتر GA_3 برابر ۲/۰۹ حاصل شد. ABS/RC نشان دهنده تراکم مرکز واکنش به‌ازاء مقدار انرژی نورانی جذب شده است که مقدار آن تحت تنش‌های محیطی کاهش یافته و بالا بودن این شاخص به‌معنی افزایش عملکرد فتوسنتز است (Mehta *et al.*, 2010). در بررسی شاخص‌های فتوسنتزی در چندین رقم گیاه داروئی ریحان بنفش و سبز کشت شده در زیر پنج طیف نوری LED از جمله سفید (۴۰۰-۷۳۰ نانومتر)، آبی (۴۰۰- ۵۰۰ نانومتر)، قرمز (۶۰۰ – ۷۰۰ نانومتر) و دو طیف ترکیبی آبی+ قرمز با نسبت‌های ۵۰: ۵۰ و ۳۰: ۷۰ با تراکم شار فوتون فتوسنتزی یکسان، شاخص ABS/RC به‌ویژه در ارقام ریحان بنفش زیر طیف قرمز تکی افزایش ولی شاخص عملکرد (P_I) در همه ارقام سبز و بنفش زیر همین طیف کاهش یافت (Hosseini *et al.*, 2019).

استفاده از نور تک‌رنگ LED در طول رشد گیاهان در مقایسه با طیف مرئی کامل (نور سفید) یا نورهای قرمز + آبی، منجر به‌نقص در زنجیره انتقال الکترون می‌شود (Seif *et al.*, 2018). رنگدانه‌های فتوسنتزی و شاخص‌های فلورسنس کلروفیل دارای الگوی جذب طول‌موج‌های خاص هستند (Chang-Chang *et al.*, 2014). توسعه دستگاه فتوسنتزی توسط طیف نوری در گیاهان تحریک می‌شود (Massa *et al.*, 2008). اعمال تیمار نور با کیفیت نامناسب یا هورمون در غلظت بسیار کم یا هر تنش محیطی دیگر، به‌دلیل کم شدن تراکم مولکول‌های آنتن یا تعداد کلروفیل در دریافت نور باعث کاهش برخی شاخص‌های فلورسنس کلروفیل می‌شوند (Strasser, 1995).

نتیجه‌گیری

افزایش P_I (شاخص عملکرد دستگاه فتوسنتزی گیاه) یعنی اینکه گیاه در شرایطی به‌سر می‌برد که فتوسنتز نرمالی دارد. به‌طور کلی افزایش این شاخص نشان‌دهنده توانایی نشاء یا گیاه بالغ در استفاده بهتر از شرایط محیطی برای تولید مواد کربوهیدراتی بیشتر و بهبود کیفیت رشد است. ارتباط بین افزایش میزان کلروفیل b، قند محلول برگ و شاخص ABS/RC همگی در تیمار۴۰: ۴۰: ۲۰ ضمن تایید این همبستگی، نشان می‌دهد از آنجا که بیشترین جذب نور توسط کلروفیل در طیف نوری قرمز و آبی صورت می‌گیرد تیمار ۴۰: ۴۰: ۲۰ نسبت به۷۰: ۲۰: ۱۰ با مقادیر بیشتر نور قرمز و آبی بهتر است. تاثیر نور در هر کیفیتی یا GA_3 در هر غلظتی بر صفات مربوط به‌کیفیت رشد نشاء یا گیاه بالغ، با ژنوتیپ گونه گیاهی ارتباط مستقیم داشته و به‌الزام نمی‌توان تأثیرات خاصی از آنها را تعیین کرد، ضمن اینکه نورهای تکمیلی LED اگرچه می‌توانند در برخی صفات منجر به- افزایش کیفیت بیشتر نشاء سیکلمن گردند اما فقط در صورت جبران سایر هزینه‌های تولید از جمله مصرف برق استفاده از آنها منطقی است. لازم به‌ذکر است شاخص‌های فلورسنس کلروفیل نیز از نظر تاثیر بر عملکرد دستگاه فتوسنتزی مستقل از یکدیگر عمل می‌کنند.

منابع

1. Arteca R.A. 2014. Physiological foundations of the use of plant growth materials. (Translated by Assadollah Hejazi and Mohammad Kafashi Sedghi). Tehran. University of Tehran Press 3:341. (In Persian)
2. Abidi F., Girault T., Douillet O., Guillemain G., Sintes G., Laffaire M., Ben H., Ahmed S., Smiti S., Huche L., and Leduc N. 2012. Blue light effects on rose photosynthesis and photomorphogenesis. Plant Biology 67-74. DOI: 10.1111/j.1438-8677.2012.00603.x.
3. Azad M.O.K.I.J., Chun J.H., Jeong S.T., Kwon and Hwang J.M. 2011. Response of the growth characteristics and phytochemical contents of pepper (*Capsicum annuum* L.) seedlings with supplemental LED light in glass house. Bio-Environment Control 20(3): 182-188.
4. Avarseji Z., Rashed Mohassel M., Nezami A., Abbaspoor M., and Nasiri Mahallati M. 2015. Investigation of the Effects of Clodinafop and Dicamba+2, 4-D on Kautskey Curve and Chlorophyll Fluorescence. Journal of Plant Protection 29(1): 32-42. (In Persian). DOI: 10.22067/jpp.v29i1.48540.
5. Abbaspour H., and Rezaei H. 2015. Effects of gibberellic acid on Hill reaction, photosynthetic Pigment and phenolic compounds in Moldavian dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) in different drought stress levels. Journal of Plant Research 27(5): 893-903. (In Persian)
6. Aliniaeifard S., Seifi M., Arab M., Mehrjerdi M.Z., Li T., and Lastochkina K. 2018. Growth and photosynthetic performance of Calendula officinalis under monochromatic red light. International Journal of Horticultural Science and Technology 1: 123-132. DOI:10.22059/IJHST.2018.261042.248.
7. Bayat L., Arab M., and Aliniaeifard S. 2020. Effects of different light spectra on high light stress tolerance in rose plants (*Rosa hybrida* cv. '*Samurai*'). Journal of Plant Process and Function 9(36): 93-103. (In Persian)

8. Chang-Chang C., Meng-Yuan H., Kuan-Hung L., Shau-Lian W., Wen-Dar H., and Chi-Ming Y. 2014. Effects of light quality on the growth, development and metabolism of rice seedlings (*Oryza sativa* L.). Research Journal of Biotechnology 9(4): 15-24.
9. Dole J., and Wilkins H. 2004. Floriculture Principles and Species. Prentice-Hall 1021.
10. Dehkhodai P., Rizi S., and Ghasemi Ghehsareh M. 2017. Investigation of quantity and quality of seedlings produced by Hassan Yousef, Atlas and geranium flowers under different quality and intensities of LED light. Master Thesis in Ornamental Plants. School of Agriculture. Shahrekord University. Iran 75.
11. Esfandiari A., and Enayati V. 2014. Study of the variation in chlorophyll a fluorescence parameters in two durum wheat cultivars in response to salinity. Journal of Plant Research, 26(4): 375-386. (In Persian)
12. Fukuda M., Ajima C., Yukawa T., and Olsen J. 2016. Antagonistic action of blue and red light on shoot elongation in petunia depends on gibberellin, but the effects on flowering are not generally linked to gibberellin. Environmental and Experimental Botany 121: 102-111. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.06.014.
13. Fahimi kuyerdi F., and Shamshiri M.H. 2016. Comparison of photosystem II efficiency in four Pistachio rootstocks under drought stress using chlorophyll fluorescence technique. Journal of Plant Process and Function 5(17): 95-108. (In Persian)
14. Fan X.X., Xu Z.G., Liu X.Y., Tang C.M., Wang L.W., and Han X.L. 2013. Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. Scientia Horticulturae 153(1): 50-55. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.01.017.
15. Farjadi Shakib M., Naderi R., and Mashhadi Akbarjar M. 2012. The effect of spermidine foliar application on morphological, physiological and biochemical characteristics of Iranian cyclamen (*Cyclamen persicum* Mill). Journal of Plant Ecophysiology 13: 96-113.
16. Ghasemi Ghehsareh M., and Kafi M. 2011. Scientific and practical floriculture. Ghasemi Publications 2: 394-399. (In Persian)
17. Hassibi P. 2011. Chlorophyll fluorescence. Available at https://paymanhassibi.blogfa.com/post/8. (Visited 25 September 2020).
18. Hosseini A., Mehrjerdi M.Z., Aliniaeifard S., and Seif M. 2019. Photosynthetic and growth responses of green and purple basil plants under different spectral compositions. Physiology and Molecular Biology of Plants 1: 741-752. DOI:10.1007/s12298-019-00647-7.
19. Irigoyen J.J., Emerich D.W., and Sanchez-Diaz M. 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medcago sativa*) plants. Physiologia Plantarum 84: 55-60. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1992.tb08764.x.
20. Javadi Asayesh A. 2019. The effect of complementary light spectra on vegetative growth of Verizia, 11th Iranian Congress: Horticultural Sciences, Urmia, Urmia University.
21. Jai Hyunk R., Kyoung Sun S., Gab Lim C., Eui Shik R., Sheong Chun L., Seong Kyu C., Si-Yong K., and Chang-Hyu B. 2012. Effects of LED light illumination on germination, growth and anthocyanin content of dandelion (*Taraxacum officinale*). Korean Journal of Plant Research 25(6): 731-738. DOI:10.7732/kjpr.2012.25.6.731.
22. Javanmardi J., and Emami S. 2013. Response of tomato and pepper transplants to light spectra provided by light emitting diodes. International Journal of Vegetable Science 19: 138-149. DOI:10.1080/19315260.2012.684851.
23. Kapotis G., Zervoudakis G., Veltsistas T., and Salahas G. 2003. Comparison of chlorophyll meter readings with leaf chlorophyll concentration in Amaranthus vlitus: Correlation with physiological processes. Russian Journal of Plant Physiology 50(3): 395-397. DOI:10.1023/A:1023886623645.
24. Lim S., Hahn E.J., Heo J.W., and Peak K.Y. 2004. Effect of LEDs on net photosynthetic rate, growth and leaf stomata of chrysanthem um plantlets *in vitro*. Scientia Horticulturae 101: 143-151. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2003.10.003.
25. Lin K.H., Huang M.Y., Huang W.D., Hsu M.H., Yang Z.W., and Yang C.M. 2013. The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *capitata*). Scientia Horticulturae 150: 86-91. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.10.002.
26. Lichenthaler H.K., and Wellburn A.R. 1983. Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. Biochemical Society Transactions 11: 591-592. https://doi.org/10.1042/bst0110591.
27. Morrow R.C. 2008. LED Lighting in horticulture. HortSeience 43: 947-1950.
28. Mitchell C.A., Dzakovich M.P., Gomez C., Lopez R., Burr J.F., Hernandez R., Kubota C., Currey C.J., Meng Q., Runkle E.S., Bourget C.B., Morrow R.C., and Both A.J. 2015. Light emitting diodes in Horticulture. Horticultural Reviews 43: 10-102. doi:10.1002/9781119107781.ch01.
29. Massa G.D., Kim H.H., Wheeler R.M., and Mitchell C.A. 2008. Plant productivity in response to LED lighting. HortScience 43: 1951-1956. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.1951.

30. Mehta P., Jajoo A., Mathur S., and Bharti S. 2010. Chlorophyll a fluorescence study revealing effects of high salt stress on photosystem II in wheat leaves. Plant Physiology and Biochemistry 48: 16-20. doi: 10.1016/j.plaphy.2009.10.006.
31. Mihaiela C.C., Doru Pamfil C.R.S., and RodicaMargaoan R. 2020. Gibberellic acid can improve seed germination and ornamental quality of selected cyclamen species grown under short and long days. Agronomy 1: 2-19. https://doi.org/10.3390/agronomy10040516.
32. Omrani B., Fallah S., and Taddayon M.R. 2015. The response of photosynthetic pigments and dry matter partitioning and nitrate content in purslane (*Portulaca oleracea*) to plant nutrition. Journal of Plant Process and Function 5(15): 181-194. (In Persian)
33. Punetha P., Rawat T., Bohra M., and Trivedi H. 2018. Effects of various concentrations of GA_3 and NAA on cuttings of hydrangea under shade net conditions. Journal of Hill Agriculture 9(1): 260-264. DOI : 10.5958/2230-7338.2019.00002.8.
34. Pinho P., Moisio O., Terti E., and Halonen L. 2004. Photobiological aspects of crops plants grown under light emitting diodes. In Proceedings of the CIE Symposium. On LED light source: Physical measurments and visual and photobiological assessment. Tokyo. Japan. Pp. 73-76.
35. Soltani A. 2004. Chlorophyll fluorescence and its application. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources Publications 1: 19-22. (In Persian)
36. Strasser R.J., and Stirbet A.D. 2001. Estimiation of the energetic connectivity of PSII centres in plants using the fluorescence rise O-J-I-P. Fitting of experimental data to three different PSII models. Mathematics and Computers in Simulation 56: 451- 461. DOI:10.1016/S0378-4754(01)00314-7.
37. Strasser B.J. 1995. Measuring fast fluorescence transients to address environmental questions: the JIP test. Photosynthesis: from light to biosphere. KAP Press, Dordrecht 1: 977-980. DOI:10.1007/978-94-009-0173-5_1142.
38. Steele R. 2004. Understanding and measuring the shelf-life of food. Woodhead Publishing.
39. Salachna P., Mikiciuk M., Zawadzi A., nska Piechocki R., Ptak P., Mikiciuk G., Pietrak A., and Lopusiewicz L. 2020. Changes in growth and physiological parameters of amarine following an exogenous application of gibberellic acid and methyl jasmonate. Agronomy 2-13. https://doi.org/10.3390/agronomy10070980.
40. Singh D., Basu Ch., Meinhardt-Wollweber M., and Roth B. 2014. LEDs for energy efficient greenhouse lighting. Hannover Centre for Optical Technologies. 17: 30167. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.117.
41. Seif M., Aliniaeifard S., Arab M., and Zare Mehrjerdi. 2018. Effect of light qualities on photosynthetic electron transport chain in chrysanthemum leaves. International Symposium on Innovation and New Technologies in Protected Cultivation. ISHS Acta Horticulturae 1271: 169-176. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1271.24.
42. Toyoki K., Genhua N., and Michiko T. 2016. Plant Factory (An Indor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production). Academic Press. 401-405.
43. Taylor M., Bruce L.D., Niels M., and Mark P. 2019. Effect of LED lighting and gibberellic acid supplementation on potted ornamentals. Horticulturae 1: 1-10. https://doi.org/10.3390/horticulturae5030051.
44. Wang H., Gu M., Cui J., Shi K., Zhou Y., and Yu J. 2009. Effects of light quality on CO_2 assimilation, chlorophyll-fluorescence quenching and expression of Calvin cycle genes and carbohydrate accumulation in *Cucumis sativus.* Journal of Photochemistry and Photobiology B96(1): 30-37. DOI: 10.1016/j.jphotobiol.2009.03.010.
45. Yamaguchi S., and Kamiya Y. 2001. Gibberellins and light-simulated seed germination. Journal of Plant Growth Regulators 20(1): 369–376. https://doi.org/10.1007/s003440010035.
46. Yousefinia M., and Qasemian A. 2016. Evaluation of salinity effects on photosynthesis and chlorophyll a fluorescence of barley (*Hordeum vulgare* L.). Journal of Developmental Biology 8(1): 35-44. (In Persian)
47. Zulfiqar F., Younis A., Abideen Z., Francini A., and Ferrante A. 2019. Bioregulators can improve biomass production, photosynthetic efficiency, and ornamental quality of *Gazania rigens* L. Agronomy 9: 773. https://doi.org/10.3390/agronomy9110773.